Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 2, May-June 2023, p. 195-216

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۲، خرداد- تیر ۱۴۰۲ ص. ۱۹۵-۲۱۶

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir
Research Paper

Evaluation of Ethyl Oleate, Sodium Chloride and Blanching Pretreatments on Vacuum Drying of Sweet Pepper (*Capsicum annum*)

N. Alirezaloo[1], N. Asefi[2]*, P. Barman Veisi[3], H. Soraiyay Zafar[4]

Received: 2021-05-02
Revised: 2021-06-07
Accepted: 2021-07-17
Available Online: 2021-09-15

How to cite this article:
Alirezaloo, N., Asefi, N., Barman Veisi, P., & Soraiyay Zafar, H. (2023). Evaluation of ethyl oleate, sodium chloride and blanching pretreatments on vacuum drying of sweet pepper (*Capsicum annum*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 19*(2), 195-216. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.70205.1040

Introduction
Sweet Pepper (*Capsicum annum*) has a very important place among the vegetables produced in the world. Therefore, it is necessary to apply practical solutions to increase their sustainability to develop and improve production. The growing consumer rejection of chemical additives and the demand for more natural products have increased attention to some methods, including the drying method. One of the physical changes that occur during the drying of food is its reduction in volume. Vacuum drying is a method in which water and other solvents that have been absorbed into the volume or surface of the material are removed. Combining vacuum with heating can be an effective way to dry; because in this case, a high level of dryness can be achieved without the need for a large increase in temperature. A thermal process that is applied to vegetables and fruits as a pre-process step for freezing, drying and canning to inactivating enzymes, modifying texture, preserving flavor and nutrients, and extracting Interstitial air.

Materials and Methods
This study aimed to investigate the impact of various factors ethyloleate (concentrations 0,2,4%), sodium chloride(concentrations 0,2,4%) and blanching on the drying kinetics, physical properties, chemical composition and nutrients of green bell pepper, dried under vacuum at 60°C and pressure of 10 kpa using the response surface methodology. At the end of the drying time, 10 g of the treated samples were weighted to investigate the drying kinetics and the rest of the samples were kept for analysis. To achieve the drying kinetics, the samples were taken out of the oven (Behdad Company, model 3494, made in Iran) at 30 minute intervals and weighed by a digital scale, and dried down to moisture content of 12% ., and then for relevant analyzes on dried samples, the samples were stored in plastic packages until the day of experiments. Investigation of independent and interaction effects of immersion in different concentrations of sodium chloride and ethyloleate solution on the kinetics and drying time separately in blanching and non-blanching samples on the parameters of color, chlorophyll content, phenolic substances and vitamin C remaining in dried Sweet peppers were evaluated using minitab16 software and response level method (RSM).

Results and Discussion
The results showed that the drying process occur in the range of falling rate and also effect blanching in boiling water for 3 minutes and immersed in an alkaline solution of ethyloleate and sodium chloride with concentrations of 2 and 4% for 1 minute, significantly increase the drying rate. In blanching and treated samples with 4% ethyloleate and sodium chloride, the drying time was about 3.5 hours, while the control sample was dried under the same conditions for 7.5 hours.

1, 2 and 3- M.Sc., Associate Professor and Ph.D. Students, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: n.asefi@iaut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.70205.1040

Pretreatment of samples, showed the chlorophyll content, phenolic compounds and vitamin C were higher than the control sample. Due to the effectiveness of ethyloleate in the protection of ascorbic acid, phenolic compounds and residual chlorophyll, the highest amount of ascorbic acid with a value of 39.77 was related to the samples treated in ethyloleate solution with a concentration of 4% and 4% NaCl and the minimum value of 17.98 was related to the control treatment. The highest amount of residual chlorophyll was 23.6 in the pretreated samples with a concentration of 4% ethyloleate and 4% NaCl and the lowest amount was related to the control sample with a concentration of 12.9%. The color of the dried samples showed that the lowest amount of color changes was related to the non-blanching sample with 4% ethyloleate and 4% NaCl with a value of 4.94. While the blanching and ethyloleate solution had no positive effect on the color of pepper and dried samples were dark. Comparison of blanching with non-blanching shows that blanching samples cause darkening of the primary color of the samples.The best sample in terms of quality and speed of drying, was belonged to the samples which blanched, treated with 4% solution of ethyloleate and sodium chloride.

Conclusion

In order to achieve the best quality in vacuum drying of pepper samples, pretreatments of blanching and using a concentration of 4% solution of ethyloleate and sodium chloride showed the most desirable quality. The best quality of dried samples were obtained when subjected to constant temperature and pressure during drying conditions. The benefits obtained using the pretreatment of ethyloleate and sodium chloride as an appropriate method of drying include increasing the absorption of water, keeping the chlorophyll, phenolic compounds and vitamin C content with time-saving in drying.

Keywords: Blanching, Ethyl oleate, Response surface methodology, Sodium chloride, Sweet pepper (*Capsicum annum*), Vacuum drying

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 2, May-June 2023, p. 195-216

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۴۰۲ ص. ۲۱۶-۱۹۵

مقاله پژوهشی

بررسی پیش‌تیمارهای اتیل‌اولئات، کلریدسدیم و آنزیم‌بری بر خشک شدن تحت خلاء فلفل دلمه‌ای

نسیبه علیرضالو[۱]- نارملا آصفی[۲*]- پویا بارمان ویسی[۳]- هاله ثریای ظفر[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

فلفل دلمه‌ای جایگاه بسیار مهمی را در میان صیفی‌جات تولیدی در جهان به خود اختصاص داده است. بنابراین به‌کارگیری راهکارهای عملی برای افزایش ماندگاری آنها برای توسعه و بهبود تولید، ضروری به نظر می‌رسد. عدم‌پذیرش افزودنی‌های شیمیایی و تقاضا برای محصولات طبیعی‌تر، توجه به برخی روش‌ها از جمله روش خشک کردن را افزایش داده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر فاکتورهای مختلف به عنوان پیش‌تیمار شامل آنزیم‌بری با سه روش، آب ۱۰۰^0C به مدت ۳ دقیقه، اتیل‌اولئات (با غلظت‌های ۰، ۲ و ۴ درصد) به مدت ۱ دقیقه، کلریدسدیم (با غلظت‌های ۰، ۲ و ۴ درصد) به مدت ۳ دقیقه و عدم انجام آنزیم‌بری بر سینتیک خشک شدن، خواص فیزیکی، ترکیبات شیمیایی و مواد مغذی فلفل دلمه‌ای سبز، تحت خشک کردن در خلاء در دمای ۶۰^0C و فشار kpa ۱۰ با استفاده از روش سطح‌پاسخ است. نتایج نشان داد که کل فرآیند خشک شدن فلفل دلمه‌ای در محدوده سرعت نزولی بوده و همچنین اثر پیش‌تیمارهای آنزیم‌بری در آب ۱۰۰^0C به مدت ۳ دقیقه و غوطه‌وری در محلول قلیایی اتیل‌اولئات و کلریدسدیم با غلظت‌های ۲ و ۴ درصد به مدت ۱ دقیقه، بطور قابل‌توجهی موجب افزایش سرعت خشک شدن شدند. نمونه‌های پیش‌تیمار شده، میزان کلروفیل، ترکیبات فنولی و ویتامین ث بیشتری را نسبت به نمونه کنترل نشان دادند. در حالیکه فرآیند آنزیم‌بری و محلول اتیل‌اولئات تأثیر مثبتی بر رنگ نمونه‌ها نداشته و موجب تیرگی نمونه‌های فلفل خشک شده گردیدند. مطلوب‌ترین نمونه از لحاظ حفظ کیفیت شامل بیشترین میزان کلروفیل، ترکیبات فنولی و ویتامین ث، مربوط به نمونه آنزیم‌بری شده، تیمار شده با غلظت ۴ درصد محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بود. بهره‌گیری از پیش‌تیمارهای اتیل‌اولئات و کلریدسدیم را به عنوان روشی مناسب قبل از عمل خشک کردن با مزایایی از جمله حفظ میزان کلروفیل، ترکیبات فنلی و ویتامین ث با صرفه‌جویی در زمان خشک کردن را به اثبات می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌بری، اتیل‌اولئات، خشک کردن تحت خلاء، روش سطح پاسخ، فلفل دلمه‌ای، کلریدسدیم

مقدمه

فلفل دلمه‌ای گیاهی است از خانواده Solanaseae با نام علمی *Capsicum annum* که از صیفی‌جات فصل گرم می‌باشد. فلفل دلمه‌ای سرشار از ویتامین‌های گروه ب مانند تیامین، ریبوفلاوین و ب۶ و ویتامین C و E، پروویتامین A و کارتنوئیدها است که ویتامین‌های مؤثر در تبدیل مواد غذایی به انرژی می‌باشند (Materska and Perucka, 2005). فلفل دلمه‌ای همچنین گیاهی سرشار از فیبر، پروتئین و آهن می‌باشد. فیبر در غذاهای گیاهی مانند میوه‌ها، سبزی‌ها، غلات کامل و حبوبات یافت می‌شود و بدن برخلاف پروتئین، کربوهیدرات و چربی نمی‌تواند آن را هضم کند و در دستگاه گوارش با اتصال به چربی‌ها و افزایش دفع آن‌ها، موجب کاهش فشارخون و کلسترول خون می‌گردد (Materska and Perucka, 2005). فلفل

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجویان دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: n.asefi@iaut.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.2021.70205.1040

دلمه‌ای قرمز ۵۵ تا ۷۵ درصد نیاز روزانه بدن به مواد مغذی مورد نیاز در سلامت استخوان را تأمین می‌نماید. این مسئله به دلیل دارا بودن مقادیر فراوانی از ریزمغذی‌هایی چون: کلسیم، آهن، منیزیم، فسفر، پتاسیم و روی می‌باشد که همگی، از مواد مغذی مورد نیاز در استحکام و حفظ بافت استخوانی می‌باشند (Orikasa *et al.*, 2018). از آنجا که بیشتر محصولات کشاورزی زمان رسیدگی و برداشت مشخص و ماندگاری محدودی دارند، و بعد از برداشت در اثر فعالیت میکروبی و واکنش‌های بیوشیمیایی به سرعت فاسد می‌شوند، بنابراین بایستی پس از برداشت تدبیری برای افزایش عمر انبارمانی یافته شود. کنسرو کردن، انجماد و خشک کردن از جمله روش‌های پرکاربردی هستند، که در مقیاس وسیع صنعتی بکار می‌روند. عدم پذیرش افزودنی‌های شیمیایی و تقاضا برای محصولات طبیعی‌تر، توجه به برخی از روش‌ها از جمله روش خشک کردن را افزایش داده است.

خشک کردن به روش جریان هوای گرم متداول‌ترین روشی است که در سطح تجاری و بصورت گسترده برای انواع سبزیجات و میوه‌ها بکار می‌رود، در طول خشک کردن با هوای داغ مقدار فروپاشی سلولی با مقدار افت رطوبت در طول فرآیند متناسب است، ازاین‌رو پارامترهای کیفی مانند طعم، رنگ، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و سرعت باز جذب آب تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش می‌یابند. همچنین به دلیل اتلاف زیاد انرژی حرارتی، بالا بودن مدت زمان عملیات با هوای گرم، روش‌هایی که با حداقل هزینه حداکثر کیفیت محصول را نگهداری کنند، حائز اهمیت می‌باشند. از جمله این روش‌ها می‌توان به خشک کردن تحت خلاء اشاره کرد. خشک کردن خلأ روشی جایگزین برای روش خشک کردن مرسوم اتمسفری است. در این روش خارج شدن رطوبت از محصول درفشارهای پایین انجام گرفته و واکنش‌های اکسیداسیون به دلیل عدم وجود هوا به حداقل رسیده و رنگ، طعم و بافت محصولات خشک شده تا حدی حفظ می‌شود (Arévalo-Pinedo and Murr, 2006).

از جمله تغییرات فیزیکی که حین خشک کردن ماده غذایی رخ می‌دهد، کاهش حجم آن است. از دست دادن آب و گرم شدن باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی ماده غذایی می‌گردد که نتیجه این حالت تغییر شکل و ابعاد آن است (Daood *et al.*, 2006). چروکیدگی محصول در بیشتر موارد یک ویژگی منفی از نظر مصرف کننده است. پدیده چروکیدگی اثر منفی بر میزان جذب آب مجدد محصول خشک شده می‌گذارد. اکثر مواد غذایی جامد و نیمه جامد از مواد غیرهمگن تشکیل شده است که به صورت یک شبکه مقدار زیادی از فاز مایع را در خود نگه می‌دارد. ساختار خاص مواد و ویژگی‌های مکانیکی اجزا آن، حجم نمونه، اندازه و شکل آن را تعیین می‌کند. موقعی که آب از شبکه مواد خارج می‌شود، فشار نامتعادلی بین داخل و خارج شبکه بوجود می آید که انقباض شبکه، چروکیدگی، تغییر شکل و گاهی ترک‌هایی را در سطح محصول همراه دارد. به همین دلیل خشک کردن تحت خلاء، چروکیدگی کمتری را باعث می‌شود (Lee and Kim, 2009).

خشک کردن در خلأ روشی است که در آن آب و دیگر حلال‌هایی که درون حجم یا سطح ماده جذب شده‌اند، زدوده می‌شوند. مایعی که قرار است حذف شود می‌تواند بخشی از طبیعت خود ماده باشد، از عملیات قبلی در آن باقی مانده باشد، یا در زمان حل کردن، ترکیب کردن و یا وارد کردن یک ماده شیمیایی در بخشی از فرآیند کلی وارد قطعه مورد نظر شده باشد (Arévalo-Pinedo and Xidieh Murr, 2007). فرآیند خشک کردن تحت خلأ اغلب دارای چندین مرحله اعمال گرمایش یا خلأ می‌باشد. کاهش فشار (اعمال خلأ) در سطح یک مایع مانند آب، امکان تبخیر مایع را بدون بالا بردن دما می‌دهد، تبخیر مایع تا جایی ادامه می‌یابد که قطعه کاملاً خشک شود یا گرمای کافی در طول تبخیر زدوده شود تا مایع باقی‌مانده منجمد شود؛ در این نقطه، فرآیند خشک کردن به شکل تصعید ادامه می‌یابد (Lee and Kim, 2009). اغلب از خلأ به عنوان فرآیندی برای حذف بخارات آب و دیگر حلال‌هایی که جذب سطح و حجم ماده شده است، استفاده می‌شود. خلأ به همراه گرمایش می‌تواند روش مؤثری برای خشک کردن باشد؛ زیرا در این حالت سطح بالایی از خشکی بدون نیاز به افزایش زیاد دما قابل دستیابی خواهد بود. به این ترتیب می‌توان مواد حساس به دماهای بالا را در مدت زمان کوتاهی به خوبی خشک کرد (Balzarini *et al.*, 2018). خشک کردن تحت خلأ می‌تواند مانع از اکسید شدن مواد حساسی شود که در معرض هوا امکان اکسید شدن آنها وجود دارد. خشک کردن تحت خلأ هم چنین می‌تواند حلال‌هایی را که از ماده زدوده شده است را در صورت لزوم بازیابی کند (Demiray and Çalışkan Koç, 2021).

یکی از روش‌های آنزیم‌بری روش حرارتی است که بر روی سبزیجات و میوه‌ها به عنوان یک پیش فرایند قبل از انجماد، خشک کردن و کنسرو کردن با اهداف غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها، اصلاح بافت، حفظ رنگ طعم و مواد مغذی و خارج ساختن هوای میان بافتی اعمال می‌شود. در این عمل علاوه بر آنزیم‌ها تعدادی زیادی از میکروارگانیسم‌های سطحی نیز از بین می‌روند. مارزوکی و همکاران (Marzuki *et al.*, 2021). سینتیک خشک کردن و کیفیت گوشت سیب‌زمینی شیرین بنفش (PFSP) در معرض خشک کردن با مایکروویو تحت خلاء (سطوح مختلف توان، ۴۵۰، ۶۰۰ و ۸۵۰ وات) را مورد بررسی قرار دادند، آنها اثرات پیش‌تیمار آب داغ و بخار را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصولات خشک شده نیز در نظر گرفتند و همچنین برای مقایسه ازخشک کردن با هوای گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد را انجام دادند، نتایج نشان داد که زمان خشک شدن PFSP

در شرایط مایکروویو تحت خلاء در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ دقیقه است، در مقایسه با خشک شدن هوای گرم (۶۰۰ دقیقه) بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین PFSP در شرایط مایکروویو تحت خلاء خشک شده نسبت به خشک کردن هوای گرم دارای شاخص جذب آب و ظرفیت تورم کمتری بود و رنگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنلی کل PFSP خشک شده نیز تحت خشک شدن در مایکروویو تحت خلاء بهبود یافت (Marzuki *et al*., 2021).

آبگیری اسمزی به عنوان پیش‌فرآیند برخی از روش‌های نگهداری مانند: خشک کردن با هوای گرم، خشک کردن در خلاء، کنسرو کردن، انجماد و سرخ کردن بکار می‌رود. استفاده از آبگیری اسمزی قبل از فرآیند خشک‌کردن به دلیل انتقال آب به خارج از بافت ماده‌غذایی حداکثر کیفیت لازم را به فرآورده می‌دهد. در این روش افزایش ماده جامد محصول در حضور محلول‌های غلیظ (کلریدسدیم، سوربیتول، ساکاریدها و ...) صورت می‌گیرد. هدف اصلی از آبگیری اسمزی به حداقل رساندن صدمه به بافت سلولی و انتقال آب به بیرون از بافت در یک مدت کوتاه، در مقایسه با سایر روش‌های خشک‌کردن است. طی آبگیری اسمزی چند جریان جرمی اتفاق می‌افتد؛ که مهمترین آن انتقال آب از داخل فرآورده به داخل محلول اسمزی و در جهت مخالف انتشار آب، جریان ماده حل‌شده از محلول اسمزی به داخل بافت ماده غذایی می‌باشد (Cichowska *et al*., 2018). در سال‌های اخیر فعالیت‌های زیادی در راستای استفاده از آبگیری اسمزی به عنوان فرآیند یا پیش فرآیند خشک‌کردن صورت گرفته است چرا که این فرآیند باعث بهبود خواص کیفی، عطر و طعم و بافت محصول می‌شود. در این راستا استفاده از محلول قلیایی اتیل اولئات تا حد زیادی زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد. اتیل اولئات با فرمول مولکولی ($C_{20}H_{38}O_2$) استر اسید چرب تشکیل شده از طریق کندانسیون اسیداولئیک و اتانول می باشد که یک محلول قلیایی نامحلول در آب بوده و به عنوان امولسیفایر استفاده می‌شود. فرو بردن میوه‌های واکسی برای چند ثانیه در محلول اتیل اولئات تا حد زیادی زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد. پوشش واکسی (مومی) در بعضی از میوه‌جات و سبزیجات به عنوان یک لایه محافظ در برابر عوامل محیطی و خارجی عمل می‌کند همچنین این لایه مومی به جریان رطوبت از داخل میوه به سطح آن تأثیر می‌گذارد که یک فرآیند مهم در خشک کردن می‌باشد (Doymaz, 2004). به دلیل ضرورت اقدامات اساسی به لحاظ جنبه‌های اقتصادی در راستای افزایش ماندگاری و کیفیت محصولات کشاورزی پرارزش در پژوهش حاضر با اعمال پیش تیمار محلول اتیل‌اولئات قلیایی و کلریدسدیم و مقایسه اثر فرآیند آنزیم‌بری و عدم آنزیم‌بری برروی فلفل دلمه‌ای و سپس خشک کردن در خشک‌کن تحت خلأ با روش سطح‌پاسخ، مطلوب‌ترین شرایط با حفظ جنبه‌های کیفی محصول، شناسایی و تعیین شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

جهت انجام این مطالعه فلفل دلمه‌ای سبز رقم RS-ANIBAL F1 با توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی از یکی از گلخانه‌های شهر تبریز تهیه گردید و تا زمان انجام آزمایشات در سردخانه بالای صفر نگهداری گردید. همچنین کلرید سدیم به صورت نمک تصفیه شده با نام تجاری گل‌ها استفاده شد. اتیل اولئات ساخت شرکت Sigma آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. دیگر مواد شیمیایی مورد استفاده از جمله تولوئن، یدات پتاسیم، یدید پتاسیم، کربنات سدیم، اسید کلریدریک و معرف فولین ساخت شرکت Merck آلمان استفاده گردید.

روش کار

آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها در آزمایشگاه صنایع‌غذایی به مدت ۱ ساعت تا رسیدن به دمای آزمایشگاه در محیط نگهداری شد؛ سپس شسته شده قسمت سر و دانه‌های آن جدا شدند و سپس توسط یک کاتر دستی مربعی شکل (قالب آلومینیومی) به قطعاتی به طول و عرض ۲ سانتی‌متر و ضخامت ۴ میلی‌متر برش داده شدند. لازم به ذکر است که ضخامت برش‌ها توسط کولیس کنترل شده و برای انجام هر پیش‌تیمار مطابق جدول ۱ مقدار ۳۰۰ گرم از نمونه‌ها جدا گردید.

روش‌های پیش‌تیمار نمونه‌ها

آنزیم‌بری

جهت تعیین اثرات پیش‌تیمار آنزیم‌بری، نمونه‌ها در آب 100^0C به مدت ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند. در تمامی موارد پس از اعمال آنزیم‌بری جهت جلوگیری از حرارت بیشتر نمونه‌ها بلافاصله با آب سرد شسته شده و آب سطحی آنها با کاغذ صافی گرفته شد (Tunde-Akintunde, 2010).

غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم

در این مطالعه از محلول کلرید سدیم به غلظت‌های ۲و ۴ درصد (وزنی- وزنی) جهت غوطه‌وری نمونه‌ها به مدت ۳ دقیقه استفاده گردید. نسبت نمونه به محلول در همه غلظت‌ها ۱ به ۵ در نظر گرفته شد. در تمامی موارد جهت یکنواختی شرایط بعد از خروج قطعات از محلول آب‌نمک، رطوبت سطحی آنها توسط کاغذ جاذب حذف گردید (Tunde-Akintunde, 2010).

جدول ۱- طرح آماری مرکب ارائه شده توسط نرم افزار Minitab نسخه ۱۶

Table 1- Composite statistical design presented by Minitab software version 16

Sample نمونه	Blanching آنزیم‌بری	Treatment with % sodium chloride solution تیمار با محلول کلرید سدیم٪	Treatment with ethyl-oleate solution تیمار با محلول اتیل‌اولئات
1	-	0	2
2	-	0	0
3	+	2	2
4	+	2	2
5	+	2	2
6	+	2	2
7	+	0	2
8	+	2	4
9	-	0	4
10	-	2	2
11	-	2	2
12	-	2	4
13	+	2	2
14	+	0	0
15	-	2	0
16	-	2	2
17	-	4	4
18	+	4	2
19	+	4	4
20	-	4	0
21	-	2	2
22	-	2	2
23	+	2	0
24	-	4	2
25	+	4	0
26	+	0	4

غوطه‌وری در محلول اتیل اولئات

محلول اتیل‌اولئات با غلظت‌های ۲و ۴ درصد (وزنی- وزنی) تهیه گردید و نمونه‌ها به مدت ۱دقیقه در محلول غوطه‌ور گردیدند و سطح مرطوب نمونه‌ها پس از خروج از محلول روغنی اتیل‌اولئات توسط کاغذ جاذب حذف گردید (Doymaz and Ismail, 2010).

خشک کردن نمونه‌های پیش تیمار شده

جهت خشک کردن، نمونه‌های پیش تیمار شده در خشک کن تحت خلاء آزمایشگاهی (شرکت Memmert، مدل V0400، ساخت کشور آلمان) با دمای ۶۰^{0}C و فشار ۱۰ کیلوپاسکال با فاصله معین بر روی طبقات آون چیده شدند (شکل ۱). پس از اتمام زمان خشک شدن ۱۰ گرم از نمونه‌های تیمار شده توسط ترازو (شرکت Mettler Toledo، مدل ME303، ساخت کشور سوئیس) جهت بررسی سینتیک خشک شدن و مابقی نمونه‌ها جهت انجام آنالیزهای مورد نظر جدا گردیدند. به منظور دستیابی به سینتیک خشک شدن، نمونه‌ها در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه‌ای از آون (شرکت بهداد، مدل ۳۴۹۴، ساخت کشور ایران) خارج شده و توسط ترازوی دیجیتال وزن گردید و خشک کردن تا رسیدن به محتوای رطوبت ۱۲ درصد بر پایه مرطوب ادامه یافت سپس جهت انجام آنالیزهای مربوطه بر روی نمونه‌های خشک شده نمونه‌ها در بسته‌بندی‌های پلاستیکی تا انجام آزمایشات نگهداری گردیدند. تمامی آزمایشات با ۲ تکرار انجام شد و داده‌های گزارش شده میانگین داده های آزمایشی هستند.

بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه‌های خشک شده

محتوای رطوبت

میزان رطوبت نمونه تازه از طریق خشک کردن ۵ گرم نمونه خرد شده در آون کنوکسیونی در دمای ۱±۱۰۵ درجه سلسیوس، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد (A Chemists, 1990). در نهایت بر حسب گرم رطوبت به گرم ماده خشک گزارش گردید. محتوای رطوبت نمونه های خشک شده طبق رابطه (۱) محاسبه شد و منحنی‌های خشک کردن مربوطه رسم گردید.

$$MC = \frac{W0-W}{W0} \times 100$$ (رابطه ۱)

که در این رابطه:



شکل ۱- نمونه‌های برش داده و تیمار شده (عکس از نویسنده)
Fig. 1- Cut and treated samples (photo by the author)

MC: محتوای رطوبت

W_0: وزن نمونه اولیه

W : وزن نمونه بعد از آون‌گذاری می‌باشند.

همچنین برای رسم نمودارهای کاهش رطوبت، نسبت رطوبت از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$MR = \frac{Mt-Me}{M0-Me}$$ (رابطه ۲)

که در این معادله:

MR نسبت رطوبت (بدون بعد)

M_t: رطوبت نمونه در زمان t

M_0: رطوبت اولیه نمونه‌ها

M_e: مقدار رطوبت تعادلی می‌باشند.

رنگ

مقایسه رنگ نمونه‌های خشک شده فلفل دلمه‌ای با استفاده از روش یام و پاپاداکیس (Yam and Papadakis, 2004) انجام گرفت. ابتدا تصاویر دیجیتالی نمونه‌ها در داخل محفظه معین با شدت نور و فاصله لنز ثابت، تا نمونه گرفته شد. زاویه بین محور لنز دوربین و منبع نور ثابت و حدود ۴۵ درجه گرفته شد. نور داخل محفظه دارای قدرت مشابه نور روز D_{65} بود. تعیین فاکتورهای L، a و b در ۵ نقطه از نمونه توسط نرم‌افزار فتوشاپ انجام گرفت. همچنین عکسبرداری از رنگ‌های استاندارد (Ral) در همان محفظه با شرایط مشابه انجام پذیرفت و فاکتورهای L، a و b همانند قبل تعیین گشت. با توجه به فاکتورهای L، a و b استانداردهای Ral و استانداردهای واقعی، منحنی استاندارد رسم و معادله آن به دست آمد. سپس اعداد میانگین نمونه‌های فلفل دلمه‌ای در معادله خط استاندارد قرار داده شد تا اعداد واقعی به دست آید. همچنین شاخص میزان تغییرات رنگ نسبت به رنگ شاهد با رابطه (۶) محاسبه شد.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_i^*)^2 + (a_0^* - a_i^*)^2 + (b_0^* - b_i^*)^2}$$

(رابطه ۶)

L_0^*: میزان روشنایی در نمونه شاهد

L_i^*: میزان روشنایی در نمونه خشک شده

a_0^*: میزان رنگ سبز تا قرمز در نمونه شاهد

a_i^*: میزان رنگ سبز تا قرمز در نمونه خشک شده

b_0^*: میزان آبی تا زرد در نمونه شاهد

b_i^*: میزان آبی تا زرد در نمونه خشک شده

تعیین میزان کلروفیل

میزان کلروفیل نمونه‌های تازه و خشک شده با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (شرکت Opti sciences، مدل CC 202plus، ساخت کشور آمریکا) ارزیابی گردید.

اسید آسکوربیک

۱۰۰گرم از نمونه تازه را بسیار ریز خرد کرده ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و با استفاده از هاون له کرده و مخلوط حاصل با

استفاده از کاغذ صافی صاف شد و سپس محلول استخراج شده در یک بالن حجمی با آب مقطر به حجم ۱۰۰میلی‌لیتر رسانده شد. ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره نمونه را به داخل بالن حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته و ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۵ میلی‌لیتر یدید پتاسیم (۰/۶ مول بر لیتر)، ۵ میلی‌لیتر اسید کلروریدریک (۱ مول بر لیتر) و ۱ میلی‌لیتر از محلول نشاسته (۰/۵ درصد) اضافه گردید. سپس نمونه با محلول یدات پتاسیم (۰/۰۰۲ مول بر لیتر) تیتر شد. نقطه پایانی تیتراسیون ظهور اولین نشانه دائمی رنگ آبی تیره به دلیل کمپلکس نشاسته و ید می‌باشد و میزان اسید آسکوربیک نمونه با توجه به نمودار استاندارد با استفاده از رابطه (۷) محاسبه گردید (Lee *et al.*, 2005).

(رابطه ۷) حجم یدات مصرفی = ۰/۹۱۷۸۵۸ X − ۰/۳۰۰۹۳۷

X: مقدار اسیدآسکوربیک بر حسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره

تعیین ترکیبات فنلی نمونه‌ها

الف) رسم منحنی کالیبراسیون اسیدگالیک

برای رسم منحنی استاندارد ابتدا ۰/۵ گرم اسیدگالیک در ۱۰ میلی لیتر اتانول ۹۶درصد حل شده و سپس به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از محلول فوق مقدار ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ میلی‌لیتر برداشته و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس از نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر برداشته و با ۵ میلی‌لیتر محلول فولین-سیوکالتیو (۱۰درصد) و ۷۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۸ دقیقه هم زده شد. در ادامه ۱۵ میلی‌لیتر محلول کربنات‌سدیم اشباع (۲۰درصد) افزوده و با آب به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در محل تاریک نگهداری گردید و سپس جذب نمونه در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد و منحنی مربوطه رسم گردید.

ب) تهیه عصاره و اندازه‌گیری ترکیبات فنلی نمونه‌ها

جهت استخراج عصاره از حلال متانول-آب (متانول۸۰٪) استفاده شد. برای این کار ۵ گرم از نمونه بعد از خرد شدن به مدت ۴۸ ساعت در ۸۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد قرار داده شد و سپس با استفاده از کاغذ صافی، صاف شد و محلول به دست آمده با افزودن متانول ۸۰ ٪ به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. ۱ میلی‌لیتر از نمونه را به بالن ژوژه ۱۰۰ انتقال داده و ۷۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۵ میلی لیتر معرف فولین-سیوکالته (۱۰ ٪) به آن اضافه شده و در دمای اتاق به مدت ۸ دقیقه هم‌زده، سپس ۱۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۲۰ ٪) به آن اضافه شده و با آب به حجم ۱۰۰ رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در محل تاریک نگهداری و سپس در طول موج ۷۶۵ نانومتر میزان جذب نمونه قرائت و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت فنل موجود در نمونه محاسبه شد (Lee *et al.*, 2005).

تجزیه و تحلیل آماری

بررسی اثرات مستقل و متقابل غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلریدسدیم و اتیل اولئات بر سینتیک و مدت زمان خشک شدن بطور جداگانه در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و آنزیم‌بری نشده بر روی پارامترهای رنگ، میزان کلروفیل، مواد فنلی و ویتامین ث باقیمانده در فلفل دلمه‌ای خشک شده با استفاده از نرم‌افزار minitab16 و روش سطح پاسخ (RSM) مورد بررسی قرار گرفت؛ در این طرح ابتدا بر اساس آزمایشات مقدماتی و پیشینه تحقیق دامنه تغییرات فاکتورها برای متغیرهای مستقل تعیین گردید و سپس تأثیر مستقل فاکتورها و اثرات متقابل آنها بر اساس سطح احتمال ۹۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. روش سطح پاسخ برای ارزیابی اثر متغیرهای مستقل؛ غوطه‌وری در محلول اتیل اولئات (X1) و غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم (X2) برروی متغیرهای وابسته استفاده گردید (جدول ۲).

جدول ۲- نمایش متغیرهای مستقل کمی فرآیند

Table 2- Showing the quantitative independent variables of the process

Factors levels سطوح فاکتورها 1	0	-1	Mathematical symbol نماد ریاضی	Quantitative independent variables متغیرهای مستقل کمی
4	2	0	X_1	غوطه‌وری در محلول اتیل‌اولئات(درصد) Immersion in ethyl oleate solution (%)
4	2	0	X_2	غوطه‌وری در محلول کلریدسدیم (درصد) Immersion in sodium chloride solution (%)

مدل‌سازی رگرسیونی

برای مدل‌سازی سینتیکی خشک شدن نمونه‌های آزمایش شده بر اساس مدل‌های ریاضی شناخته شده از ابزار برازش منحنی نرم‌افزار MATLAB و تکنیک رگرسیون غیر خطی برای برازش نسبت‌های رطوبت آزمایشگاهی با نسبت‌های رطوبت پیش‌بینی شده (معادله واکنش) توسط مدل‌های ریاضی استفاده شد. ثابت سرعت واکنش خشک شدن بر اساس ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) که از رابطه (۸) بدست آمد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(MR_{pi} - MR_{ei})}$$

(رابطه ۸)

که در این رابطه:

MR_{ei}: نسبت رطوبت آزمایشگاهی

MR_{pi}: نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل

N: تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

سینتیک خشک کردن

تعیین درجه، معادله و سرعت واکنش نمونه‌های آزمایش شده

در جدول ۳ داده‌های سینتیک نمونه‌های مورد آزمون به همراه تعیین درجه، معادله و سرعت واکنش نمونه‌ها گزارش شده است.

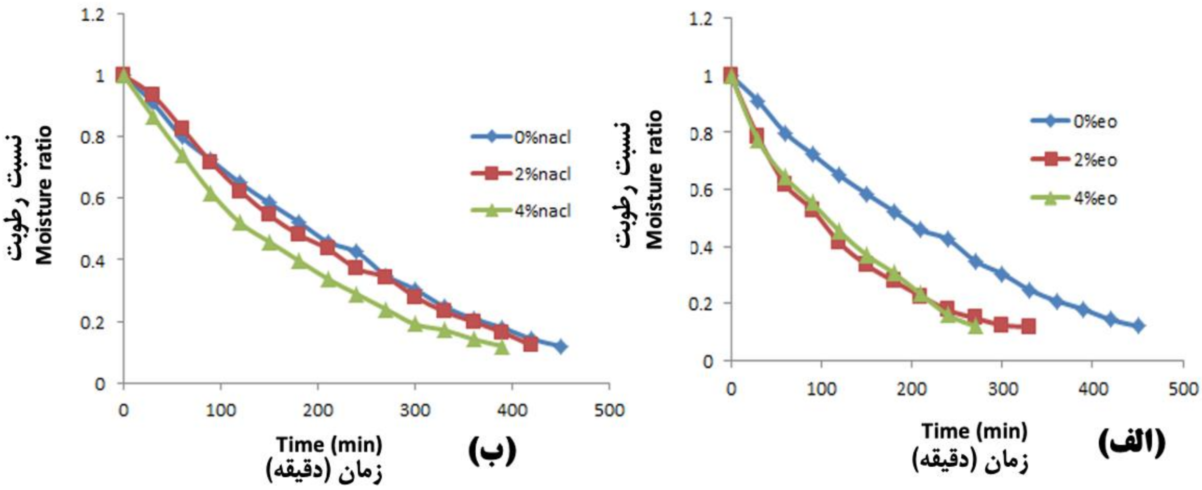
جدول ۳- داده‌های سینتیک نمونه‌های مورد آزمون

Table 3- Kinetic data of the tested samples

Applied treatment تیمار اعمال شده	Reaction order مرتبه واکنش	Reaction equation معادله واکنش	The reaction rate constant ثابت سرعت واکنش
Control شاهد	First اول	$y=1.0783\ e^{-0.004}$	0.0047
Ethyl oleate 2% اتیل اولئات ۲%	First اول	$y=0.9687\ e^{-0.007}$	0.0067
Ethyl oleate 4% اتیل اولئات ۴%	First اول	$y=1.0163\ e^{-0.007}$	0.0075
Sodium chloride 2% کلرید سدیم ۲%	First اول	$y=1.1186\ e^{-0.005}$	0.0049
Sodium chloride 4% کلرید سدیم ۴%	First اول	$y=1.0235\ e^{-0.005}$	0.00454
Sodium chloride 4%+ Ethyl oleate 2% کلریدسدیم ۴% + اتیل‌اولئات ۲%	First اول	$y=1.0122\ e^{-0.005}$	0.0057
Sodium chloride 2%+ Ethyl oleate 4% کلریدسدیم ۲% + اتیل‌اولئات ۴%	First اول	$y=1.0529\ e^{-0.008}$	0.0085
Sodium chloride 2%+ Ethyl oleate 2% کلریدسدیم ۲% + اتیل‌اولئات ۲%	First اول	$y=1.0286\ e^{-0.006}$	0.0058
Sodium chloride 4%+ Ethyl oleate 4% کلریدسدیم ۴% + اتیل‌اولئات ۴%	First اول	$y=1.0109\ e^{-0.008}$	0.0078
Blanching آنزیم‌بری	First اول	$y=1.0797\ e^{-0.006}$	0.0064
Blanching+ Ethyl oleate 2% آنزیم‌بری+ اتیل‌اولئات ۲%	Zero صفر	$y=0.0032x + 0.0735$	0.0032
Blanching+ Ethyl oleate 4% آنزیم‌بری+ اتیل‌اولئات ۴%	First اول	$y=0.9772\ e^{-0.009}$	0.0864
Blanching+ Sodium chloride 2% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۲%	First اول	$y=1.0914\ e^{-0.007}$	0.0067
Blanching+ Sodium chloride 4% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۴%	Zero صفر	$y=0.0033x + 0.0398$	0.0033
Blanching+ Sodium chloride 2%+ Ethyl oleate 4% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۲% + اتیل‌اولئات ۴%	First اول	$y=1.0388\ e^{-0.008}$	0.0085
Blanching+ Sodium chloride 4%+ Ethyl oleate 2% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۴% + اتیل‌اولئات ۲%	First اول	$y=1.1163\ e^{-0.009}$	0.087
Blanching+ Sodium chloride 2%+ Ethyl oleate 2% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۲% + اتیل‌اولئات ۲%	Zero صفر	$y=0.0033x + 0.0492$	0.0033
Blanching+ Sodium chloride 4%+ Ethyl oleate 4% آنزیم‌بری+ کلریدسدیم ۴% + اتیل‌اولئات ۴%	First اول	$y=1.0047\ e^{-0.01}$	0.0097

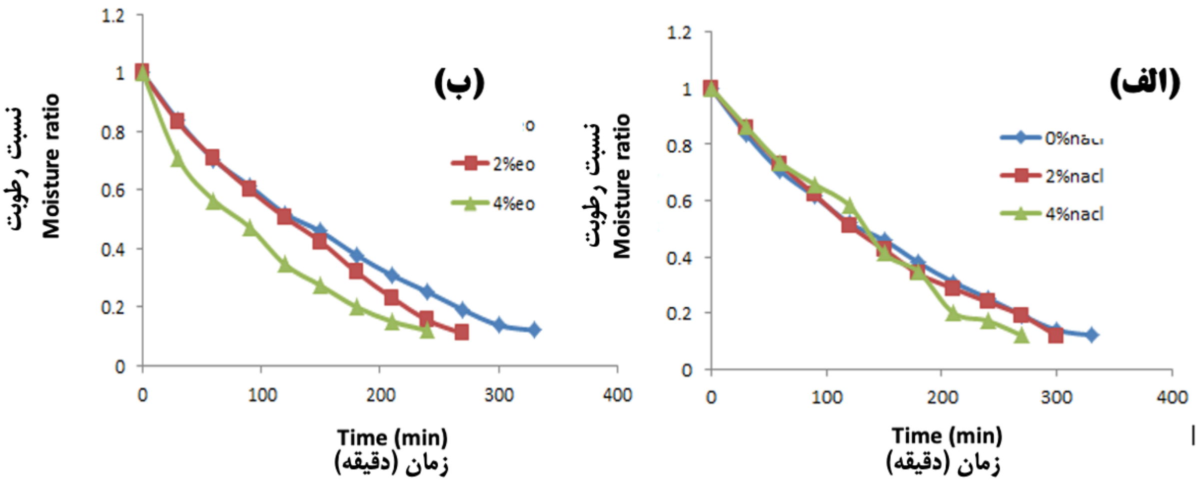
منحنی‌های خشک کردن

منحنی سینتیک افت رطوبت درطول مدت زمان خشک شدن برای نمونه‌های پیش‌تیمارشده و شاهد تا رسیدن به رطوبت ۱۲درصد (بر اساس وزن مرطوب) در نمودارهای شکل ۲ تا ۴ دیده می‌شود. در هیچکدام از این منحنی‌ها، دوره سرعت ثابت خشک کردن مشاهده نشد، از این رو کل فرآیند خشک‌کردن فلفل دلمه‌ای در محدوده سرعت نزولی اتفاق می‌افتد؛ که نشان‌دهنده اثر غالب مکانیسم نفوذپذیری بافت، بر حرکت رطوبت ماده‌غذایی می‌باشد. همچنین ممکن است به ماهیت کلوییدی و هیدروفیلیکی مواد غذایی نسبت داده شود که باعث می‌شود مولکول‌های آب با استحکام بیشتری نگه داشته شوند. نتایج مشابهی توسط دویماز (Doymaz, 2006) در خشک‌کردن میوه‌های مختلف انگور، زردآلو، فلفل قرمز و فلفل سبز بدست آمده است.



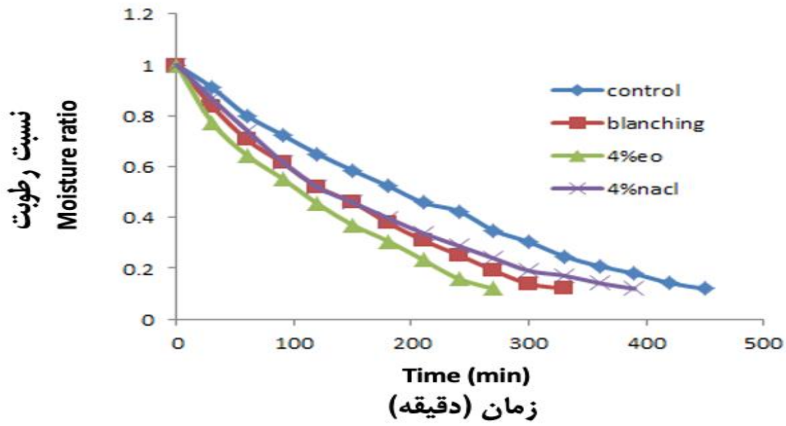
شکل ۲- منحنی افت رطوبت نمونه‌های آنزیم‌بری شده و تیمار شده با: (الف) محلول کلریدسدیم؛ (ب) محلول اتیل‌اولئات

Fig. 2- Moisture loss curve of blanched and treated samples with: (a) sodium chloride solution; (b) Ethyl oleate solution



شکل ۳- منحنی افت رطوبت نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و تیمار شده با: (الف) محلول کلریدسدیم؛ (ب) محلول اتیل‌اولئات

Fig. 3- The moisture loss curve of samples non-blanched and treated with: (a) sodium chloride solution; (b) Ethyl oleate solution



شکل ٤- منحنی مقایسه‌ای افت رطوبت نمونه شاهد با تیمارهای مختلف

Fig. 4- Comparative curve of moisture loss of the control sample with different treatments

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۴ محلول‌های پیش‌تیماری اتیل‌اولئات و کلریدسدیم به عنوان یک پارامتر مهم در زمان خشک شدن تأثیر می‌گذارند. نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول اتیل‌اولئات با غلظت ۴٪ زمان خشک کردن کوتاه‌تری در مقایسه با سایر پیش‌تیمارها داشته است، در نتیجه محلول مؤثرتری در افزایش نفوذپذیری پوست نسبت به رطوبت بوده است. به نظر می‌رسد که خواص فیزیکی بافت توسط آنزیم‌بری تغییر می‌کند. غشاء سلولی در اثر حرارت آسیب دیده و این در سرعت خشک کردن تأثیر دارد که نتایج مشابهی توسط کایماک–ارتکین (Kaymak-Ertekin, 2002) بیان شده است.

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر پارامترهای مورد ارزیابی با روش سطح پاسخ

میزان اسیدآسکوربیک

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده

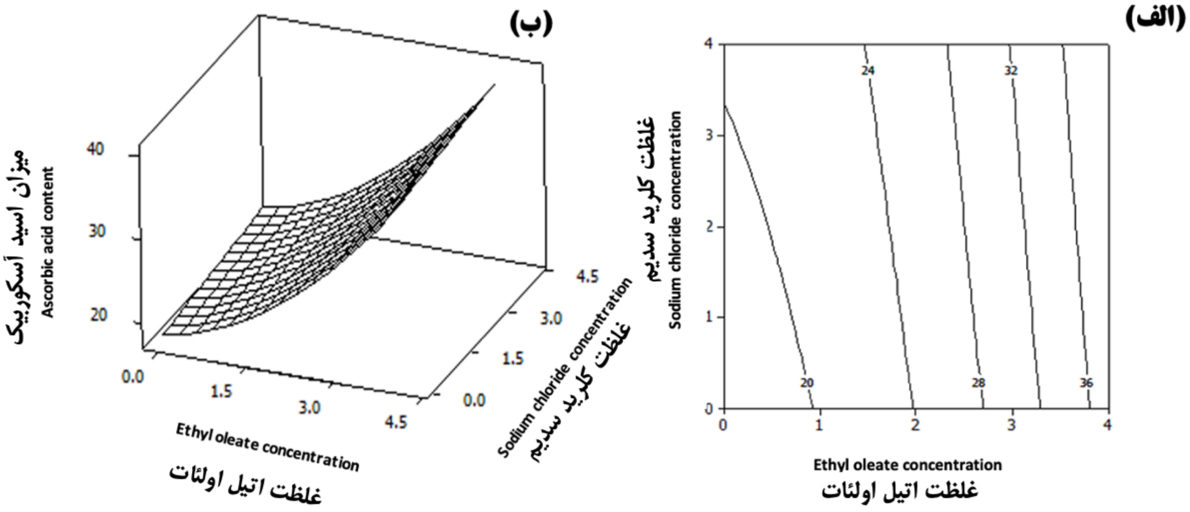
از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان اسیدآسکوربیک در فلفل‌های خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است و می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان اسیدآسکوربیک، بیشترین اثر مربوط به اثر درجه دوم غوطه‌وری در محلول اتیل‌اولئات بود که تأثیر معنی‌داری را نشان داد ($p< ۰/۰۵$). البته لازم به ذکر است که اثر خطی محلول اتیل‌اولئات هم بر میزان اسیدآسکوربیک اثر معنی‌داری داشت ($p< ۰/۰۵$). در حالی‌که غوطه‌وری در محلول کلریدسدیم و اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم معنی‌دار نمی‌باشند ($p> ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 = ۰/۹۹۴۸$) و همچنین میزان adj-R^2 (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۹۱۱ می‌باشد که می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد. در ادامه با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۹) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۹) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر منفی محلول اتیل‌اولئات (X_1) بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2، تأثیر مثبت بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشت.

(رابطه ۹)

$$Y= + ۱۸/۱۴۶۱ - ۱/۱۴۱۷\ X_1 + ۰/۹۳۹۶\ X_1^2$$

Y: اسیدآسکوربیک؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات.

شکل ۵ اثر هم‌زمان غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم را بر میزان اسیدآسکوربیک نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و خشک شده در خشک‌کن تحت خلأ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۵-الف) و (۵-ب)، با افزایش غلظت محلول اتیل‌اولئات بر میزان پایداری اسیدآسکوربیک نمونه‌های آنزیم‌بری نشده بیشترین تأثیر را داشته است.



شکل ۵- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم برمقدار اسیدآسکوربیک نمونه‌های آنزیم‌بری نشده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 5- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the ascorbic acid content of non-blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

مؤثر بودن میزان اتیل‌اولئات در مقدار اسیدآسکوربیک باقی مانده بیشترین میزان اسیدآسکوربیک با مقدار ۳۹/۷۷ مربوط به نمونه‌های تیمار شده در محلول اتیل‌اولئات با غلظت ۴٪ و نمک طعام ۴٪ می‌باشد و کمترین مقدار ۱۷/۹۸ مربوط به تیمار کنترل می‌باشد. در تمامی تیمارهایی مورد بررسی اثر نمک طعام در پایداری اسیدآسکوربیک ناچیز بوده و در مقایسه اثر مستقل نمک طعام با بالاترین غلظت با نمونه کنترل تفاوت چندانی در میزان اسیدآسکوربیک باقی مانده دیده نمی شود. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که محلول اتیل‌اولئات در غلظت‌های بالا مدت زمان خشک کردن نمونه را کاهش می‌دهد، بنابراین نمونه کمتر تحت تأثیر دمای بالا قرار گرفته در نتیجه میزان بیشتری از ویتامین ث حفظ می‌گردد. نتایج حاصله با یافته‌های زیرجان و توکلی‌پور (Zirjani and Tavakolipour, 2010) مطابقت دارد که در میان سه پیش‌فرآیند انجام شده، پیش‌فرآیند مخلوط اسیدآسکوربیک و اسید-سیتریک کاهش کمتری در ویتامین ث ایجاد کرده است ولی در پیش-فرآیند آنزیم‌بری با آبجوش و آنزیم‌بری شیمیایی با محلول ۱ درصد متابی‌سولفیت سدیم به دلیل انحلال ویتامین ث در آب میزان اتلاف آن بیشتر بوده است.

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری شده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان اسیدآسکوربیک، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثرات درجه دوم X_1^2 و X_2^2 و اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان اسیدآسکوربیک اثر معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 =۰/۹۹۹۶$) و همچنین میزان $adj\text{-}R^2$ (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۹۹۳ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۰) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۰) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت محلول اتیل‌اولئات (X_1) و تأثیر منفی محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2، تأثیر منفی و X_2^2، تأثیر مثبت بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم بری شده داشت و در نهایت جمله مربوط به اثر متقابل X_1X_2، تأثیر مثبت بر میزان اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشت.

(رابطه ۱۰)

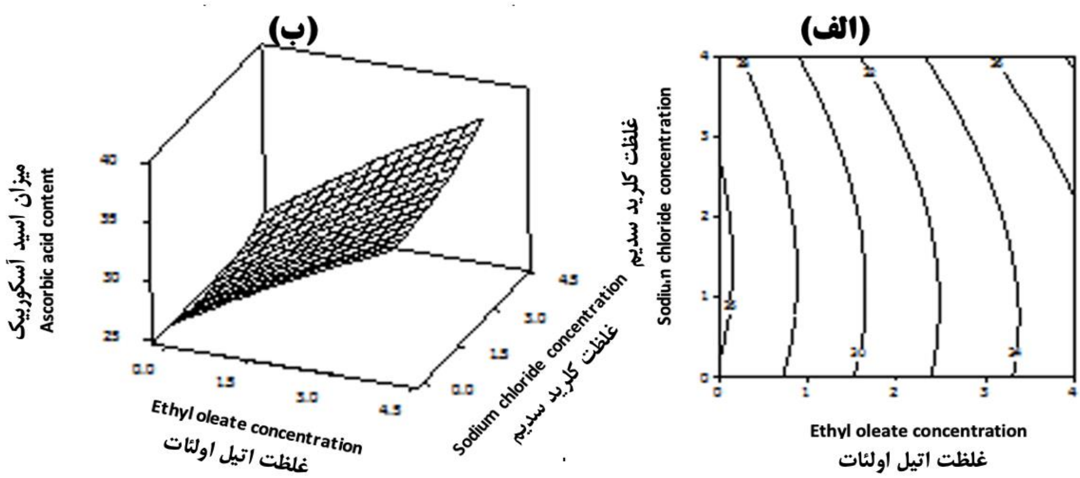
$$Y= ۲۶/۰۹۹۴ + ۲/۶۹۴۹\ X_1 - ۰/۷۳۴۴\ X_2 - ۰/۰۹۳۵\ X_1^2 + ۰/۲۵۵۵\ X_2^2 + ۰/۱۰۹۱\ X_1X_2$$

Y: اسیدآسکوربیک؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۶ اثر همزمان غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم را بر میزان اسیدآسکوربیک نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده در خشک‌کن تحت خلأ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود افزایش در غلظت محلول‌های اتیل‌اولئات و کلریدسدیم موجب افزایش مقدار ویتامین ث در نمونه‌های خشک شده می‌گردد. با توجه به شکل (۶-الف) و (۶-ب)، با افزایش غلظت هر دو محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم افزایش مقدار اسیدآسکوربیک در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده مشاهده گردید.

باتوجه به مؤثر بودن اثرات مستقل، توان دوم و متقابل تمامی پارامترها در مقدار اسیدآسکوربیک بیشترین مقدار مربوط به تیماری با اثر ۴٪ اتیل‌اولئات و ۴٪ نمک طعام بوده و کمترین مقدار مربوط به تیمار کنترل می‌باشد. مطالعه‌ای توسط وگا-گالویز و همکاران (Vega-Gálvez *et al*., 2009) انجام گرفت نشان می‌دهد که تأثیر محلول های سدیم متابی‌سولفیت و کلریدکلسیم بر روی نمونه سبزی‌ها قبل از عمل خشک کردن باعث حفظ ویتامین ث نسبت به نمونه‌های شاهد بوده که به اثر حفاظتی محلول‌های مورد استفاده نسبت داده شده که با مطالعه حاضر مطابقت نشان می‌دهد (Vega-Gálvez *et al*., 2009).

با توجه به مطلوب بودن فلفل سبز از نقطه نظر ویتامین ث، مقایسه فرآیند تأثیر آنزیم‌بری در نمونه‌های تیمار شده در حفظ این ویتامین مشاهده می‌گردد که مقدار ویتامین ث در نمونه‌های آنزیم‌بری شده کمتر از نمونه‌های آنزیم‌بری نشده می‌باشد. علت این امر مربوط به دمای بالای فرآیند آنزیم‌بری بوده که موجب تخریب ویتامین ث نمونه های تیمار شده گردیده است، که مطابق مطالعه‌ای که توسط وگا-گالویز و همکاران (Vega-Gálvez *et al*., 2009) انجام شده مطابقت دارد؛ در مطالعه آنها بر روی فلفل قرمز آنزیم‌بری شده دیده شد که تمام نمونه‌های آبگیری شده حاوی ویتامین ث کمتری نسبت به فلفل تازه بودند که به علت ترکیبی از مکانیسم‌های انتقال جرم، اکسیداسیون و تخریب حرارتی اسیدآسکوربیک طی آنزیم‌بری و خشک کردن می‌باشد (Vega-Gálvez *et al*., 2009).



شکل ٦- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم برمقدار اسیدآسکوربیک نمونه‌های آنزیم‌بری شده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 6- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the ascorbic acid content of blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

میزان ترکیبات فنولی کل

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان مواد فنلی کل در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان مواد فنلی، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2 و اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان مواد فنلی اثر معنی داری داشتند ($p< ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد

پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت (R^2 =۰/۹۹۰۳) و همچنین میزان adj-R^2 (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۸۳۴ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

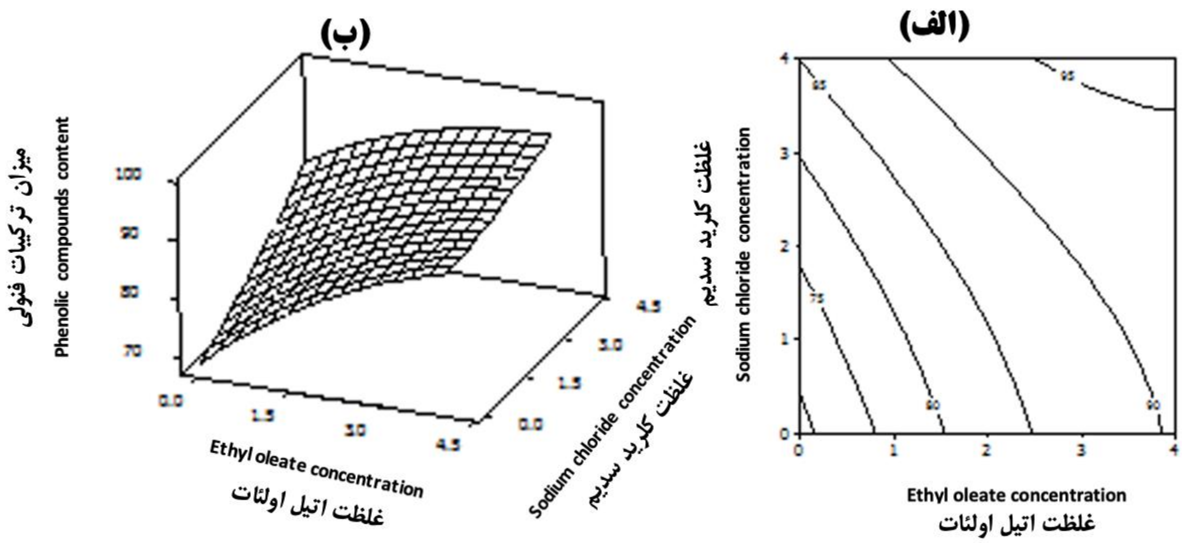
در ادامه با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۱) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۱) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت محلول اتیل‌اولئات (X_1) و محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2، و اثر متقابل (X_1X_2) تأثیر منفی بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشت.

(رابطه ۱۱)

Y= ۳۵/۴۵۹۵ + ۱۸/۷۹۹۹ X_1 + ۶/۸۲۵۷ X_2 – ۱/۱۵۷۹ X_1^2 – ۱/۱۳۱۲ X_1X_2

Y: مواد فنلی کل؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۷ اثر همزمان غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان مواد فنلی باقی‌مانده در فلفل سبز پس از خشک شدن در خشک‌کن تحت خلأ را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۷-الف) با توجه به اثر بیشتر اتیل‌اولئات مشاهده می‌گردد که با افزایش سطوح محلول اتیل‌اولئات و افزایش میزان کلریدسدیم مقدار ترکیب فنلی باقی‌مانده دارای حداکثر مقدار با میزان ۹۵/۷۵ است که مربوط به تیمار با غلظت ۴٪ اتیل‌اولئات و ۴٪ نمک طعام بود و شیب منحنی نشان می‌دهد که اثر اتیل‌اولئات بیشتر از نمک طعام است؛ بطوریکه در تیماری با غلظت ۴٪ اتیل اولئات و ۰٪ نمک مقدار ترکیبات فنلی دارای ۹۲/۵۸ بوده در حالیکه عکس این غلظت‌ها به میزان ۵۸/۴۸ بوده که تقریباً اثر نمک طعام نصف اثر اتیل‌اولئات بوده است. مطابق شکل (۷-ب) با توجه به اثر بیشتر اتیل‌اولئات مشاهده می‌گردد که با افزایش سطوح محلول اتیل‌اولئات و افزایش میزان کلریدسدیم مقدار ترکیب فنلی باقی‌مانده دارای حداکثر مقدار هستند.



شکل ۷- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های آنزیم‌بری نشده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 7- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the phenolic compounds content of non-blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot.

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان مواد فنلی کل در نمونه‌های آنزیم‌بری شده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان مواد فنلی، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثر

درجه دوم X_1^2 و اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان مواد فنلی اثر معنی داری داشتند ($p<$ ۰/۰۵). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 =$ ۰/۹۹۲۷) و همچنین میزان $adj\text{-}R^2$ (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۸۷۴ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

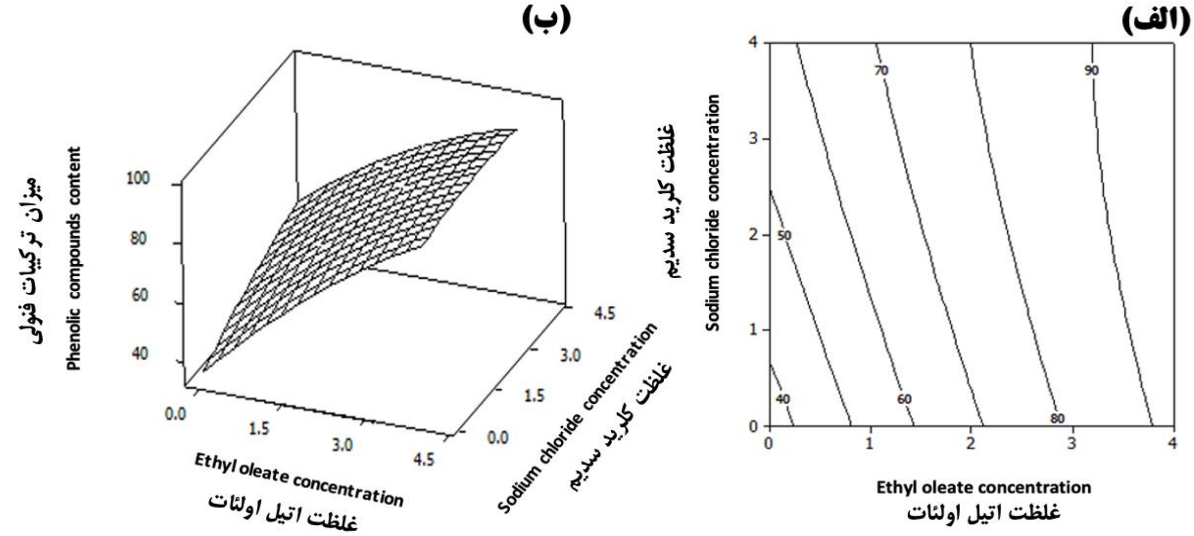
با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۲) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۲) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت محلول اتیل‌اولئات (X_1) و تأثیر منفی محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم بری شده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2، تأثیر منفی و اثر متقابل (X_1X_2)، تأثیر مثبت بر میزان مواد فنلی در نمونه‌های آنزیم-بری شده داشت.

(رابطه ۱۲)

Y= ۲۶/۰۹۹۴ + ۲/۶۹۴۹ X_1 – ۰/۷۳۴۴ X_2 – ۰/۰۹۳۵ X_1^2 + ۰/۱۰۹۱ X_1X_2

Y: اسیدآسکوربیک؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۸ اثر متقابل غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های آنزیم‌بری و خشک شده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۸–الف) و (۸–ب) مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول اتیل‌اولئات به ۴٪ و محلول کلریدسدیم از ۰ تا ۴٪ میزان ترکیبات فنولی باقی‌مانده در نمونه‌های تیمار شده افزایش می‌یابد. ضمن اینکه میزان تأثیر اتیل‌اولئات به مراتب بیشتر از نمک طعام بوده و کمترین میزان ترکیبات فنلی باقی‌مانده مربوط به تیمار کنترل بوده است. مقایسه اثر آنزیم‌بری و عدم انجام آنزیم‌بری در میزان ترکیبات فنلی باقی‌مانده نشان داد در تمامی نمونه‌های آنزیم‌بری شده ترکیبات فنولی کمتری نسبت به نمونه‌های آنزیم‌بری نشده وجود دارند؛ چرا که حرارت آنزیم‌بری موجب تخریب مواد مغذی می‌شود. با این حال ترکیبات فنولی نسبت به ویتامین ث، در برابر حرارت مقاوم‌تر هستند و تحت فرآیند آنزیم‌بری کمتر آسیب می‌بینند.



شکل ۸- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های آنزیم‌بری شده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 8- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the phenolic compounds content of blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

میزان کلروفیل

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم بری نشده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان کلروفیل، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثرات درجه دوم X_1^2 و X_2^2 و اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان کلروفیل اثر معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 =۰/۹۹۶۹$) و همچنین میزان adj-R^2 (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۹۴۸ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

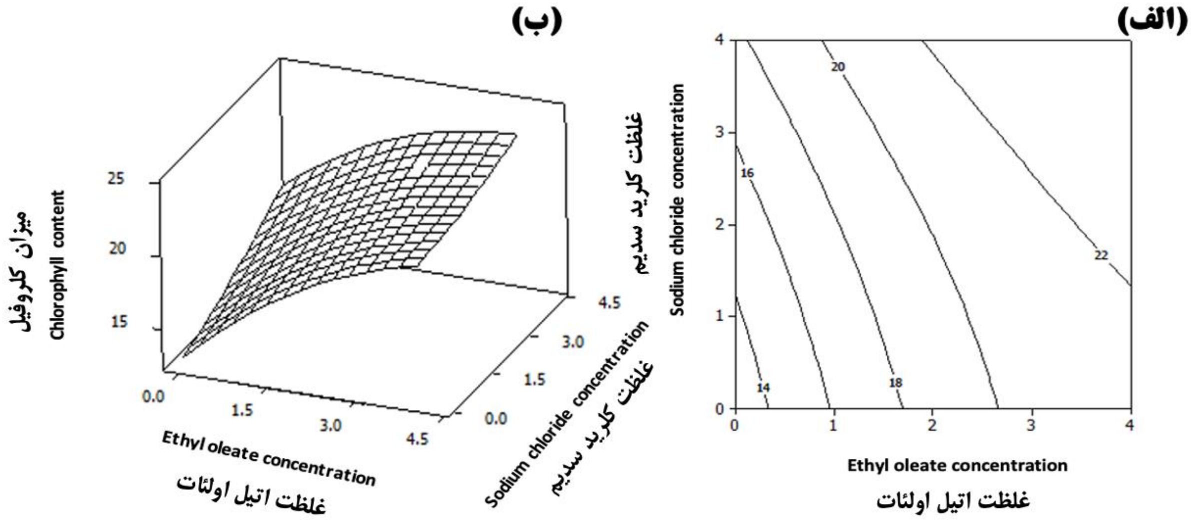
در ادامه با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۳) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۳) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت محلول اتیل‌اولئات (X_1) و محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2 تأثیر منفی و اثر درجه دوم X_2^2 تأثیر مثبت، و اثر متقابل (X_1X_2) تأثیر منفی بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشت.

(رابطه ۱۳)

$$Y= ۱۲/۷۶۶۱ + ۳/۷۴۲۶ X_1 + ۰/۸۸۱۰ X_2 – ۰/۳۸۲۷ X_1^2 + ۰/۰۸۴۴ X_2^2 – ۰/۱۷۵۶ X_1X_2$$

Y: کلروفیل؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۹ اثر متقابل غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و خشک شده تحت خلأ را نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۹-الف) بیشترین مقدار (۲۳/۶) کلروفیل باقی‌مانده در نمونه‌های پیش تیمار شده با غلظت ۴٪ اتیل اولئات و ۴٪ نمک طعام می‌باشد و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های کنترل با میزان ۱۲/۹ می‌باشد. شیب منحنی نشان می‌دهد که اثر اتیل-اولئات به مراتب بیشتر از نمک طعام است. همچنین در شکل (۹-ب) مشاهده گردید که تأثیر ایتل‌اولئات بیشتر از نمک طعام در میزان کلروفیل باقی‌مانده نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و خشک شده داشته است.



شکل ۹- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان کلروفیل نمونه‌های آنزیم‌بری نشده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 9- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the chlorophyll content of non-blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری شده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم بری شده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان کلروفیل ، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2 و اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان کلروفیل اثر معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل-اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 =۰/۹۹۰۴$) و همچنین میزان $adj\text{-}R^2$ (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۸۳۶ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۴) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۴) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت محلول اتیل‌اولئات (X_1) و محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2 و اثر متقابل (X_1X_2)، تأثیر منفی بر میزان کلروفیل در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشت.

(رابطه ۱۴)

$$Y= ۹/۹۳۵۴۰ + ۱/۹۰۴۸۹\ X_1 + ۱/۱۰۱۹۸\ X_2 – ۰/۱۲۱۸۳\ X_1^2 – ۰/۱۷۶۱۲\ X_1X_2$$

Y: میزان کلروفیل؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۱۰ اثر متقابل غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان کلروفیل نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده را نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۱۰–الف) بیشترین مقدار (۱۶/۹۸) کلروفیل باقی‌مانده در نمونه‌های آنزیم‌بری و پیش‌تیمار شده با غلظت ۴٪ اتیل‌اولئات و ۴٪ نمک طعام می‌باشد و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های کنترل با میزان ۹/۶ می‌باشد. همچنین مطابق شکل (۱۰–ب) با افزایش غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم میزان کلروفیل نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

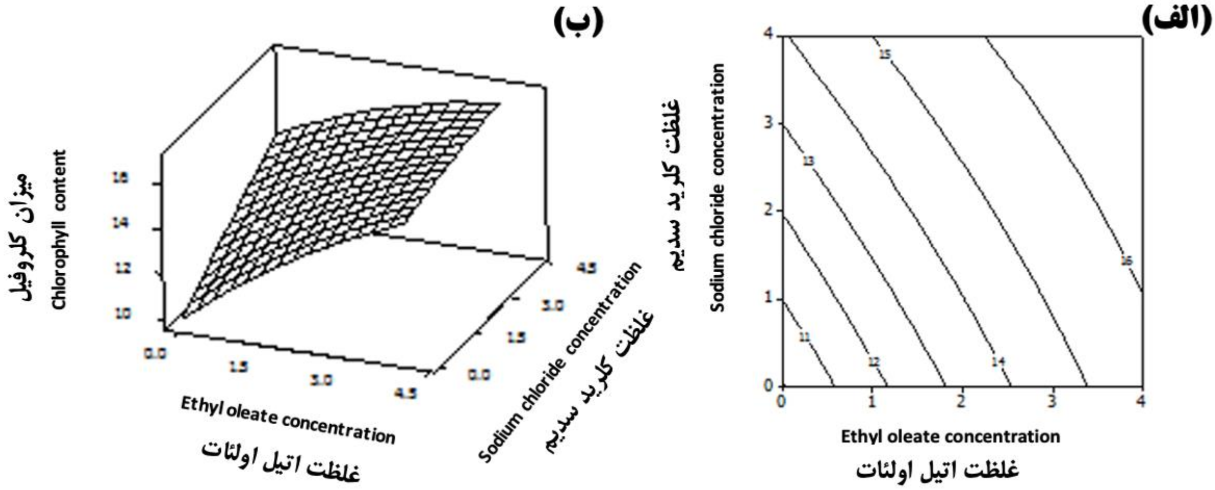
گرما و اکسیداسیون طی خشک کردن باعث ایجاد تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدها می‌شود. معمولاً زمان های طولانی‌تر و درجه حرارت بالاتر خشک کردن اتلاف بیشتر رنگدانه‌ها را به همراه دارد. اعداد بدست آمده برای میزان کلروفیل نشان می‌دهد که محدوده تغییرات بسیار گسترده نمی‌باشد که این نشان دهنده مقاومت کلروفیل در مقابل فرآیندهای انجام یافته می‌باشد. بطورکلی محلول اتیل‌اولئات به میزان چشمگیری سرعت خشک کردن را افزایش داده در نتیجه نمونه کمتر در معرض دمای بالای خشک کردن قرار گرفته و مقدار بیشتری از رنگدانه کلروفیل خود را حفظ می‌کند.

بطورکلی روند تغییرات کلروفیل هم در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و هم نمونه‌های آنزیم‌بری نشده در محدوده کمتری صورت می‌گیرد، ولی درمقایسه اعمال فرآیند آنزیم‌بری موجب تخریب رنگدانه سبز کلروفیل و تبدیل آن به فئوفیتین و زیتونی و تیره شدن رنگ فلفل می‌گردد بنابراین در مقایسه با نمونه‌های آنزیم‌بری نشده مقدار کلروفیل کمتری باقی می‌ماند.

تغییرات رنگ

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان تغییرات رنگ در نمونه-های آنزیم‌بری نشده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان تغییرات رنگ ، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثرات درجه دوم X_1^2 و X_2^2 بر میزان تغییرات رنگ اثر معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۵$). با توجه نتایج آنالیز اثرات متقابل (X_1X_2) بر میزان تغییرات رنگ اثر معنی‌داری نداشتند ($p> ۰/۰۵$). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت‌های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2 =۰/۹۹۹۶$) و همچنین میزان $adj\text{-}R^2$ (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۹۹۳ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.



شکل ۱۰- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان کلروفیل نمونه‌های آنزیم‌بری شده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 10- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the chlorophyll content of blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

در ادامه با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۵) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۵) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت (کاهش تغییرات رنگ) محلول اتیل‌اولئات (X_1) و محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_1^2 تأثیر منفی (افزایش تغییرات رنگ) و اثر درجه دوم X_2^2 تأثیر مثبت (کاهش تغییرات رنگ)، و اثر متقابل (X_1X_2) تأثیر مثبت (کاهش تغییرات رنگ) بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری نشده داشت.

(رابطه ۱۵)

$$Y= ۳۵/۸۹۵۳ - ۸/۴۱۵۴\ X_1 - ۰/۵۹۳۷\ X_2 + ۱/۱۲۰۵\ X_1^2 - ۰/۷۳۷۵\ X_2^2 - ۰/۰۵۶۳\ X_1X_2$$

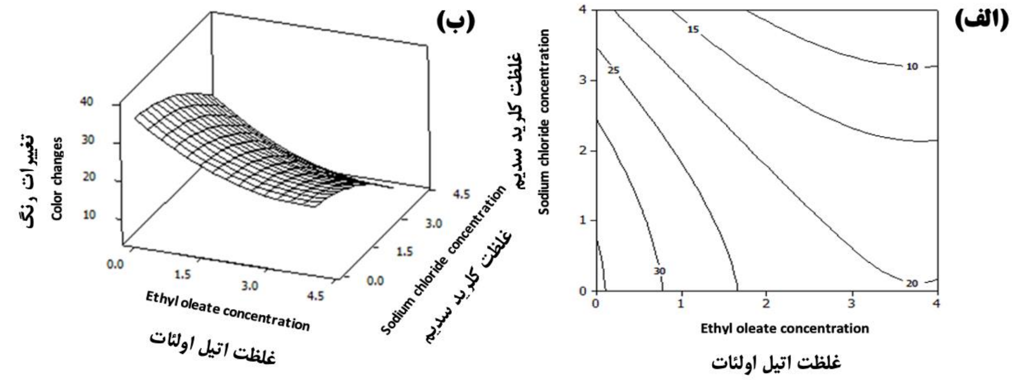
Y: تغییرات رنگ؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

شکل ۱۱ اثر غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلریدسدیم و اتیل‌اولئات بر تغییرات رنگ نمونه‌های خشک شده فلفل‌دلمه‌ای را نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۱۱-الف) بیشترین تغییرات رنگ مربوط به نمونه کنترل با میزان ۳۶/۰۱ و کمترین میزان تغییرات رنگ مربوط به نمونه‌ای با میزان ۴٪ اتیل اولئات و ۴٪ نمک طعام با مقدار ۴/۹۴ می‌باشد. در شکل (۱۱-ب) مشاهده گردید که با افزایش غلظت محلول کلریدسدیم و اتیل‌اولئات تغییرات رنگ نسبت به نمونه کنترل که در همان شرایط بدون پیش‌تیمار خشک گردیده کاهش می‌یابد.

خشک کردن، خصوصیات سطحی ماده غذایی را تغییر می‌دهد. در نتیجه خاصیت انعکاس نور و رنگ نیز تغییر می‌کند. نمونه‌های پیش تیمار شده با محلول اتیل‌اولئات رنگ روشن‌تر و شفاف‌تری از سایر نمونه‌ها دارند. مطابق نتایج حاصل از تحقیقات دویماز و پالا (Doymaz and Pala, 2002) که برروی فلفل قرمز انجام گردیده به وضوح افزایش ۱۶ درصد در روشنایی و ۸۰/۸ درصد در شدت رنگ قرمز برای نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول ۲ درصد اتیل‌اولئات و ۵ درصد کربنات پتاسیم مشاهده شده است.

اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان تغییرات رنگ در نمونه-های آنزیم‌بری شده

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور تعیین مناسب بودن مدل تجربی بکار رفته (مدل درجه دوم)، استفاده شد. نتایج اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمارهای مختلف را بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و خشک شده، معنی‌دار بودن مدل ($p< ۰/۰۵$) و عدم معنی‌دار بودن عدم برازش ($p> ۰/۰۵$) نشان دهنده توانایی خوب مدل موجود در برازش داده‌های تجربی این آزمایش است. مطابق با آنالیز آماری از بین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان تغییرات رنگ، اثر خطی محلول اتیل‌اولئات (X_1) و کلریدسدیم (X_2)، همچنین جملات مربوط به اثر درجه دوم X_2^2 و اثر متقابل (X_1X_2) بر میزان تغییرات رنگ اثر معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۵$).



شکل ۱۱- اثر متقابل محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر میزان تغییرات رنگ نمونه‌های آنزیم‌بری نشده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 11- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the chlorophyll content of non-blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

با توجه نتایج آنالیز اثر درجه دوم X_1^2 بر میزان تغییرات رنگ اثر معنی‌داری نداشتند ($p>$ ۰/۰۵). همبستگی بالایی در استفاده از غلظت های محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بین اعداد حاصل از آزمایش و اعداد پیش‌بینی شده توسط مدل وجود داشت ($R^2=$ ۰/۹۹۹۵) و همچنین میزان adj-R^2 (ضریب تبیین تعدیل شده) محاسبه شده برای مدل، ۰/۹۹۹۱ می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل با مدل آزمایشی مورد استفاده مطابقت دارد.

در ادامه با بکارگیری آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم در داده‌های آزمایشی برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته پس از حذف ضرایب بی‌معنی و در سطح ۹۵ درصد رابطه (۱۶) توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ارائه شده است. رابطه (۱۶) نیز نشان داد که جملات مربوط به اثرات درجه اول، تأثیر مثبت (کاهش تغییرات رنگ) محلول اتیل‌اولئات (X_1) و محلول کلریدسدیم (X_2) بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشتند و جملات مربوط به اثر درجه دوم X_2^2 و اثر متقابل (X_1X_2) تأثیر منفی (افزایش تغییرات رنگ) بر میزان تغییرات رنگ در نمونه‌های آنزیم‌بری شده داشت.

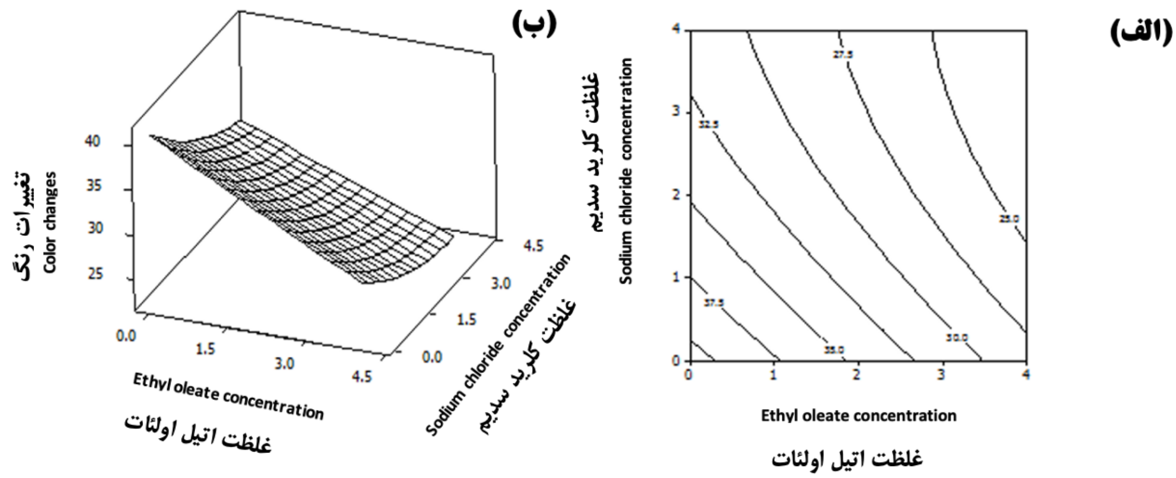
(رابطه ۱۶)

Y= ۴۰/۹۰۵۴ – ۳/۲۴۸۲ X_1 – ۳/۷۶۹۴ X_2 + ۰/۳۵۹۷ X_2^2 + ۰/۲۱۷۴ X_1X_2

Y: تغییرات رنگ؛ X_1: محلول اتیل‌اولئات؛ X_2: محلول کلریدسدیم.

مطابق شکل ۱۲ افزایش غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم باعث کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل می‌شوند؛ با توجه به شکل (۱۲-الف) شیب نمودار اثر کلریدسدیم در کاهش رنگ بیشتر از اثر اتیل‌اولئات می‌باشد که مقایسه نمونه با غلظت ۴٪ اتیل اولئات و ۴٪ نمک طعام دارای کمترین تغییرات رنگ بوده و مقایسه نمونه‌هایی با غلظت ۴٪ اولئات و ۰٪ نمک طعام با میزان تغییرات رنگ ۲۸ و نمونه‌ای با میزان غلظت ۰٪ اولئات و ۴٪ نمک طعام دارای مقداری برابر با ۳۱/۵۲ است. همچنین با توجه به شکل (۱۲-ب) با افزایش غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل مشاهده گردید.

در مطالعه‌ای که توسط زیرجانی و توکلی پور (Zirjani and Tavakolipour, 2010) در مورد تأثیر پیش‌فرآیندهای مختلف بر خشک کردن موز توسط مایکروویو انجام شد، مشاهده نتایج نشان داد که تحت شرایط مشابه برش‌های تیمار شده نسبت به برش‌های تیمار نشده تغییر رنگ کمتری را نشان می‌دهند. تیمار متابی‌سولفیت سدیم با آنزیم‌های تغییر دهنده رنگ و عوامل ایجاد کننده رنگ در قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی واکنش داده و از ایجاد رنگ جلوگیری می‌کند و نیز اسیدآسکوربیک و اسید سیتریک به ترتیب با مصرف سریع اکسیژن و کاهش pH باعث غیرفعال شدن آنزیم‌ها می‌شوند. مقایسه عمل آنزیم بری با عدم انجام عمل آنزیم‌بری نشان می‌دهد که آنزیم‌بری باعث تیره شدن رنگ اولیه نمونه‌ها می‌گردد. به‌عبارتی انجام پیش‌تیمار آنزیم‌بری قبل از خشک‌کردن، باعث افزایش سرعت خشک‌کردن می شود، یعنی در زمان ثابت خشک‌کردن رطوبت بیشتری از نمونه‌ها خارج می‌گردد بنابراین در تمامی موارد نمونه‌های آنزیم‌بری نشده از رنگ مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های آنزیم‌بری شده برخوردارند. آلزامورا و همکاران (Alzamora *et al*., 2000) (در پژوهش خود نشان داد که در میوه‌های با رنگ روشن‌تر، به دلیل خارج شدن هوا از بافت در مرحله خلأ و کاهش غلظت اکسیژن حساسیت نسبت به قهوه‌ای شدن آنزیمی کاهش یافته و میوه‌ها رنگ طبیعی‌تری خواهند داشت.



شکل ۱۲- اثر متقابل غلظت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم بر تغییرات رنگ نمونه‌های آنزیم‌بری شده با استفاده از: (الف) نمودار کانتور دو بعدی؛ و (ب) نمودار سطح پاسخ سه بعدی

Fig. 10- The interaction of ethyl oleate and sodium chloride solution on the chlorophyll content of blanched samples: a) two-dimensional line diagram. and (b) 3D response surface plot

بهینه‌سازی

مدل‌های برازش استفاده شده برای جهت بهینه‌سازی در نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های متفاوت محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم، نمونه‌هایی که دارای بیشترین مقدار کلروفیل، اسیدآسکوربیک، ترکیبات فنولی و کمترین میزان تغییرات رنگ را دارا بودند در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده با تابعیت مطلوب، مورد ارزیابی قرار گرفتند که تابعیت مطلوب بالاتر از ۰/۷ بیانگر شرایط بهینه است. جدول ۴ نتایج بهینه سازی گروه آنزیم‌بری شده را با حداکثر مطلوبیت نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌گردد با استفاده از غلظت محلول ۴٪ اتیل‌اولئات و ۴٪ کلریدسدیم مطلوبیت کل پارامترها با میزان ۰/۹۹۶۱ مؤید شرایط بهینه‌سازی می‌باشد.

جدول ٤- ویژگی‌های بهینه مدل انتخاب شده در دو گروه آنزیم‌بری شده و آنزیم‌بری نشده

Table 4- The optimal characteristics of the selected model in two groups of blanched and non-blanched

Factor پارامتر	Blanched sample نمونه‌های آنزیم‌بری شده	non-blanched sample نمونه‌های آنزیم‌بری نشده
	the target limit حد موردنظر	the target limit حد موردنظر
Ascorbic acid اسیدآسکوربیک	38.2781	39.9294
Phenolic compounds ترکیبات فنلی	96.2959	94.7895
Chlorophyll کلروفیل	16.7804	23.6784
Color changes تغییرات رنگ	22.5464	5.0852
Total acceptability مطلوبیت کل	0.9961	0.8832

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی اثر پیش‌تیمارهای آنزیم‌بری، غوطه‌وری در محلول کلریدسدیم و غوطه‌وری در محلول قلیایی اتیل‌اولئات، به صورت مستقل و متقابل با استفاده از روش سطح پاسخ بر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و سینتیک خشک کردن نمونه‌های فلفل‌دلمه‌ای، به شرح زیر می‌باشد:

با توجه به منحنی‌های افت رطوبت نمونه‌های مورد آزمایش، در هیچ‌کدام از این منحنی‌ها دوره سرعت ثابت خشک کردن مشاهده نشد، از این رو کل فرآیند خشک‌کردن فلفل‌دلمه‌ای در محدوده سرعت نزولی اتفاق می‌افتد؛ که نشان‌دهنده اثر غالب مکانیسم نفوذپذیری بافت بر حرکت رطوبت ماده‌غذایی است. کاهش رطوبت در نمونه‌های آنزیم‌بری شده با سرعت بیشتری نسبت به نمونه‌های آنزیم‌بری نشده رخ می‌دهد. هم چنین در بررسی نتایج حاصله مشخص شد نمونه‌هایی که تحت تیمار غوطه‌وری در محلول اتیل‌اولئات قرار گرفته‌اند با سرعت و شدت بیشتری در دمای ثابت، خشک می‌شوند، بطوری که در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و تیمار شده با غلظت ۴٪ اتیل‌اولئات و کلریدسدیم زمان خشک شدن حدود ۳/۵ ساعت بوده در صورتی که نمونه شاهد در طول مدت ۷/۵ ساعت تحت شرایط یکسان خشک گردید.

مقدار اسیدآسکوربیک، ترکیبات فنولی و کلروفیل باقی‌مانده در نمونه‌های آنزیم‌بری شده کمتر از نمونه‌های غیرآنزیم‌بری شده بود، علت این امر مربوط به دمای بالای فرآیند آنزیم‌بری بوده که موجب تخریب آن‌ها گردیده است. با این حال ترکیبات فنولی نسبت به ویتامین ث و کلروفیل در برابر حرارت مقاوم‌تر هستند و تحت فرآیند آنزیم‌بری کمتر آسیب می‌بینند. نتایج بدست آمده برای میزان کلروفیل نشان می دهد که محدوده تغییرات بسیار گسترده نبوده است. بطورکلی روند تغییرات کلروفیل هم در نمونه‌های آنزیم‌بری شده و هم نمونه‌های بدون آنزیم‌بری در محدوده کمتری صورت می‌گیرد.

مقایسه عمل آنزیم‌بری با عدم انجام عمل آنزیم‌بری نشان می‌دهد که آنزیم‌بری باعث تیره شدن رنگ اولیه نمونه‌ها می‌گردد. بنابراین در تمامی موارد نمونه‌های آنزیم‌بری نشده از رنگ مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های آنزیم‌بری شده برخوردارند.

در نهایت، بهینه‌سازی کل به منظور دستیابی به بهترین خاصیت کیفیتی در خشک کردن نمونه‌ها، تحت خلأ همراه با پیش‌تیمارهای اعمالی را این چنین نشان داد که نمونه‌های خشک شده تحت شرایط ثابت دما و فشار خشک کردن، نمونه‌های آنزیم‌بری شده و تیمار شده با غلظت ۴ درصد محلول اتیل‌اولئات و کلریدسدیم دارای مطلوب‌ترین کیفیت می‌باشند.

منابع

1. Chemists, A. (1990). *Official Methods of Analysis: Changes in Official... - Google Scholar*. Supplement. Association of Official Analytical Chemists.
2. Alzamora, S.M., Tapia, M.S., Leunda, A., Guerrero, S.N., Rojas, A.M., Gerschenson, L.N., & Parada-Arias, E. (2000). Minimal preservation of fruits: A cited project. *Trends in Food Engineering*, 205–225.
3. Arévalo-Pinedo, A., & Murr, F.E.X. (2006). Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, *76*(4), 562–567. https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.06.003
4. Arévalo-Pinedo, A., & Xidieh Murr, F.E. (2007). Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, *80*(1), 152–156. https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.05.005
5. Balzarini, M.F., Reinheimer, M.A., Ciappini, M.C., & Scenna, N.J. (2018). Comparative study of hot air and vacuum drying on the drying kinetics and physicochemical properties of chicory roots. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(10), 4067–4078. https://doi.org/10.1007/S13197-018-3333-5/METRICS
6. Cichowska, J., Żubernik, J., Czyżewski, J., Kowalska, H., & Witrowa-Rajchert, D. (2018). Efficiency of osmotic dehydration of apples in Polyols solutions. *Molecules*, *23*(2), 446. https://doi.org/10.3390/MOLECULES23020446
7. Daood, H.G., Kapitány, J., Biacs, P., & Albrecht, K. (2006). Drying temperature, endogenous antioxidants and capsaicinoids affect carotenoid stability in paprika (red pepper spice). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*(14), 2450–2457. https://doi.org/10.1002/JSFA.2639
8. Demiray, E., & Çalışkan Koç, G. (2021). Effect of vacuum drying temperature and pressure on the drying and desorption characteristics, and lovastatin content of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(3), e15301. https://doi.org/10.1111/JFPP.15301
9. Doymaz, I. (2004). Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosystems Engineering*, *89*(3), 281–287. https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2004.07.009
10. Doymaz, I. (2006). Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, *76*(2), 212–217. https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.05.009
11. Doymaz, I., & Ismail, O. (2010). Drying and rehydration behaviors of green bell peppers. *Food Science and Biotechnology*, *19*(6), 1449–1455. https://doi.org/10.1007/S10068-010-0207-7/METRICS
12. Doymaz, I., & Pala, M. (2002). Hot-air drying characteristics of red pepper. *Journal of Food Engineering*, *55*(4), 331–335. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00110-3

13. Kaymak-Ertekin, F. (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science, 67*(1), 168–175. https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB11378.X
14. Lee, J., Durst, R., & International, R.W. (2005). AOAC official method: total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method. *Ars.Usda.Gov*. Retrieved June 15, 2023, from https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=180292
15. Lee, J.H., & Kim, H.J. (2009). Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(1), 180–186. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.05.017
16. Marzuki, S.U., Pranoto, Y., Khumsap, T., & Nguyen, L.T. (2021). Effect of blanching pretreatment and microwave-vacuum drying on drying kinetics and physicochemical properties of purple-fleshed sweet potato. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(8), 2884–2895. https://doi.org/10.1007/S13197-020-04789-5/METRICS
17. Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(5), 1750–1756. https://doi.org/10.1021/JF035331K
18. Orikasa, T., Ono, N., Watanabe, T., Ando, Y., Shiina, T., & Koide, S. (2018). Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (*Capsicum annuum* L.). *Food Quality and Safety*, *2*(2), 97–103. https://doi.org/10.1093/FQSAFE/FYY006
19. Tunde-Akintunde, T.Y. (2010). Effect of pretreatment on drying time and quality of chilli pepper. *Journal of Food Processing and Preservation* ,*34*(4), 595–608. https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2008.00360.X
20. Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, *117*(4), 647–653. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.04.066
21. Yam, K.L., & Papadakis, S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, *61*(1), 137–142. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00195-X
22. Zirjani, L., & Tavakolipour, H. (2010). The effect of different pre-processes in the process of drying bananas by microwave. *Iranian Food Science and Technology*, *6*(1), 58-67.